

ISBN : 978-602-60451-1-9

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL
TEKNOLOGI INDUSTRI V

SEMINAR NASIONAL

TEKNOLOGI INDUSTRI V
MAKASSAR, 12 JULI 2017

**“PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
(SDM) BERBASIS KOMPETENSI YANG BERORIENTASI
PADA KEBUTUHAN INDUSTRI”**



Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA



Potensi Phase Change Material (Pcm) Sebagai Penyimpan Termal Untuk Penghematan Energi Pada Sistem Pengkondisian Udara

Djuanda¹, A. Muhammad Irfan¹

¹Universitas Negeri Makassar,
Kamp. Panrangtambung Jl. Dg Tata Raya, Makassar
Email: djuanda89@yahoo.com

ABSTRAK

Konsumsi listrik yang harus disediakan suatu gedung untuk sistem pengkondisian udara mencapai 70% dari total daya listrik. Besarnya daya listrik yang digunakan menyebabkan pentingnya suatu inovasi teknologi yang terus menerus sehingga berdampak pada penurunan biaya operasional suatu gedung. Beberapa inovasi yang telah dilakukan antara lain penggunaan sistem pendingin yang efisien, pemakaian refrigeran hidrokarbon, penggunaan lumpur es (*ice slurry*) pada sistem chiller hingga penerapan penyimpan energi termal (TES) pada sistem pengkondisian udara.

Pemakaian bahan peubah fasa (phase change material, PCM) pada penyimpan termal akan efektif jika sistem tarif listrik yang diberlakukan adalah sistem beban puncak. Sehingga ketika daya listrik pada tarif rendah sistem penyimpan termal dapat dioperasikan untuk menyimpan energi dan dipergunakan jika daya listrik berlaku pada tarif tinggi.

Penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan PCM pada sistem pengkondisian udara untuk penghematan energi listrik. Penelitian meliputi studi pustaka dan uji karakteristik bahan PCM untuk aplikasi pada pengkondisian udara.

Kata kunci : PCM, pendingin, pengkondisian udara, penyimpan termal

ABSTRACT

The electrical consumption that a building has to provide for air conditioning system reaches 70% of the total electrical power. The amount of power used to cause the importance of a continuous technological innovation that has an impact on the decrease in operating costs of a building. Some of the innovations have been made include improve refrigeration systems, the use of hydrocarbon refrigerants, and the use thermal energy storage (TES) in air conditioning systems.

The use of phase change materials (PCM) in thermal storage will be effective if the tariff is a peak load system. Therefore, when the electricity at low tariffs the thermal storage system can be store energy and be use if the power is discharge at high tariffs. This study demonstrates the potential use of PCM in air conditioning systems for energy-saving electricity. The study included literature study and PCM material characteristic test for applications on air conditioning.

Keywords: PCM, refrigeration, air conditioning, thermal storage

PENDAHULUAN

Sistem pengkondisian udara pada pada sebuah gedung perkantoran membutuhkan suplai daya listrik terbesar dibandingkan peralatan lainnya. Konsumsi daya listrik untuk pemakaian pendingin ruangan dapat mencapai 55% dari total konsumsi listrik yang digunakan [13]. Besarnya kebutuhan daya listrik yang digunakan menyebabkan perlunya suatu inovasi untuk menurunkan dan menghemat pemakaian energi listrik, seperti penggunaan refrigeran hidrokarbon [17]. Kendala utama refrigeran jenis ini pada sifatnya yang mudah terbakar.

Untuk pengkondisian skala besar seperti pada gedung bertingkat, mall dan perkantoran, sistem pengkondisian udara yang digunakan adalah sistem chiller, dimana pada sistem ini refrigeran primer akan mendinginkan refrigeran sekunder. Refrigeran sekunder kemudian bersirkulasi ke unit Air Handling Unit (AHU) untuk menyerap kalor dari udara yang bersirkulasi ke setiap ruangan.

Chiller terdiri dari beberapa komponen utama refrigerasi, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Seperti halnya sistem refrigerasi, di chiller terjadi proses pembuangan dan penyerapan kalor. Air sirkulasi yang masuk ke chiller akan didinginkan kemudian disirkulasi oleh pompa menuju unit AHU.

Di unit ini terjadi proses pertukaran kalor antara udara dengan air dingin. Udara dingin yang keluar dari AHU disirkulasi oleh fan menuju ruang yang dikondisikan, sedangkan air dari AHU akan mengalir kembali ke chiller untuk didinginkan kembali. Kalor yang dibawa oleh air kemudian akan diserap dan dibuang ke lingkungan sekitar melalui unit kondensor.

Potensi penghematan energi pada sistem chiller dapat dilakukan melalui berbagai cara. Pada beberapa sistem menggunakan ice slurry [6]. Teknologi ice slurry telah digunakan pada berbagai gedung bertingkat, salah satunya adalah gedung CAPCOM di Osaka Japan [3]. Pada banyak sistem, sistem pendingin juga dilengkapi dengan tangki penampung sehingga ice slurry juga berfungsi sebagai cadangan energi yang dapat dilepaskan saat beban puncak terjadi. Hal ini sangat menguntungkan bagi negara-negara yang memberlakukan tarif listrik yang berbeda pada saat beban puncak terjadi. Ketika tarif listrik rendah maka sistem akan menyimpan persediaan energi pada tangki, bila beban puncak terjadi maka sistem pendingin akan memanfaatkan energi dengan menyalurkan ice slurry yang telah tersedia dari tangki.

Penggunaan penyimpan kalor pada instalasi chiller memberikan penghematan energi yang signifikan. Berbeda dengan sistem konvensional, refrigeran sekunder yang mengalir ke chiller akan didinginkan kemudian disirkulasikan sebagian menuju unit AHU dan sebagian lainnya ke penyimpan kalor. Ketika chiller dalam kondisi mati, refrigeran sekunder akan mengalir dari penyimpan kalor menuju unit AHU, sehingga beban pendinginan sepenuhnya diatasi oleh penyimpan kalor. Berbagai keuntungan penggunaan penyimpan kalor seperti menghemat energi listrik [14], penurunan *primary energy consumption (PEC)* [22], sehingga menghemat biaya pemakaian energi listrik [1]. dan Pada studi optimasi sistem pengkondisian udara, Sistem pengontrolan tekanan lebih baik dibandingkan delta-temperature control [11].

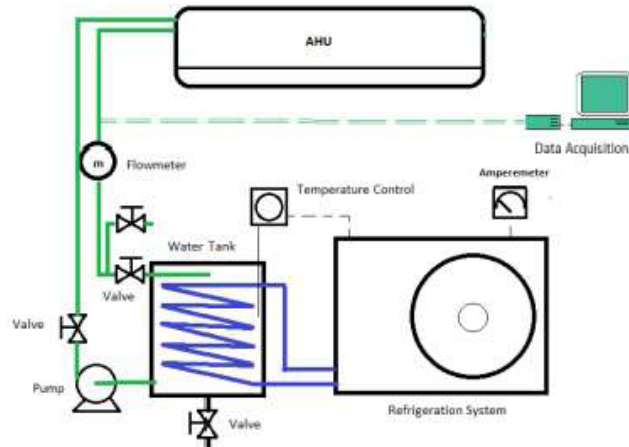
Pengujian penyimpan kalor dan hasil simulasi menunjukkan bahwa energi yang dapat dihemat mencapai 14 – 87% bergantung pada parameter yang dipilih [stiritih]. Penghematan konsumsi listrik juga ditunjukkan dari hasil penelitian oleh Deshpande dkk. [5], selain itu hasil ini juga membuktikan bahwa efisiensi sistem pengkondisian udara juga meningkat dengan penggunaan PCM yang memiliki titik leleh pada temperatur 22°C. penghematan kebutuhan daya listrik dengan penggunaan PCM akan berdampak pada biaya operasional suatu gedung, seperti ditunjukkan oleh Rismanchi dkk [19] dengan penggunaan es sebagai bahan penyimpan kalor (ITS) pada suatu gedung perkantoran. Penurunan biaya tahunan dengan penggunaan ITS mencapai 35% untuk *full storage strategy* sementara untuk *load levelling strategy* dibatasi mencapai 8%. Penambahan ITS akan membutuhkan investasi baru bagi suatu gedung, tetapi dengan penambahan ITS biaya investasi akan tertutupi dalam waktu 3 – 6 tahun untuk *full storage strategy* sementara untuk *load levelling strategy* hanya butuh waktu 1 – 3 tahun.

Beberapa bahan dari jenis organik dan inorganik digunakan sebagai bahan berubah fasa (PCM) pada penyimpan kalor [9, 21, 4], meski perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kestabilan material dalam jangka panjang seperti korosi, fasa pemisahan, stabilitas di daerah *subcooling* [15]. Aplikasi PCM di sistem chiller dan dinding ruangan juga telah diteliti oleh Indartono dkk. [8]. Dua jenis PCM yang digunakan adalah *trimethylolmethane (TME) trihydrate* dan minyak sayur (VO). Campuran antara air dan PCM akan menghasilkan *ice slurry* yang digunakan sebagai refrigeran sekunder. Unjuk kerja chiller ditentukan dengan pengukuran temperatur, laju aliran refrigeran sekunder dan daya kompresor. Pada pengujian kedua menggunakan PCM yang ditanamkan pada dinding ruangan. Hasil pengujian menunjukkan penggunaan PCM akan meningkatkan COP chiller dibandingkan dengan air dingin, hal ini disebabkan pemakaian PCM akan meningkatkan perpindahan kalor dan kapasitas termal refrigeran sekunder.

Penelitian ini mengkaji penggunaan campuran *Virgin Coconut Oil (VCO)* dan Minyak kedelai sebagai bahan penyimpan kalor pada sistem pendingin chiller. Campuran yang digunakan adalah 5%, 10%, 15%, dan 20% minyak kedelai. Campuran ini digunakan agar titik beku bahan berkisar 7 – 12°C. Titik beku minyak kedelai antara -23 – (-20)°C [12]. sedangkan titik beku VCO adalah 22°C [2]. Penelitian yang relevan juga telah dilakukan oleh Putri dkk. [18] dengan melakukan pengujian potensi penggunaan minyak kelapa sebagai bahan penyimpan kalor di Indonesia. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat termofisik minyak kelapa sebagai bahan PCM seperti *temperature solidifikasi*, *temperature supercooling*, panas jenis, dan kalor laten minyak kelapa. Selain itu ditunjukkan penurunan temperatur udara 2°C setiap 2 kg minyak kelapa yang disebabkan kapasitas minyak kelapa dalam menyimpan kalor.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan uji eksperimen campuran VCO dan Minyak Kedelai sebagai bahan penyimpan energy thermal pada sistem chiller. Chiller yang digunakan adalah sistem chiller skala laboratorium. Skema sistem yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat pengujian

Peralatan pengujian terdiri dari penukar kalor tipe double pipe, sistem pendingin, tangki ice slurry, heater sebagai sumber kalor, tangki air panas, pompa sirkulasi, evaporator, mass flowmeter, kontrol temperatur, dan data akuisisi. Prinsip kerjanya adalah air didinginkan dalam tangki hingga mencapai temperatur 7°C sesuai dengan temperatur pendingin sistem chiller, air kemudian disirkulasikan ke unit AHU. Penyimpan kalor dimasukkan ke dalam tangki pendingin, campuran VCO dan minyak kedelai akan melepaskan kalor dan berubah fasa menjadi padat. Pada saat sistem pendingin sudah tidak bekerja, penyimpanan kalor akan berfungsi menyerap kalor dan berubah menjadi fasa cair. Pengukuran temperatur dan laju aliran fluida akan dilakukan di beberapa titik pada penukar kalor sehingga diperoleh efek perpindahan kalor pada sistem chiller.

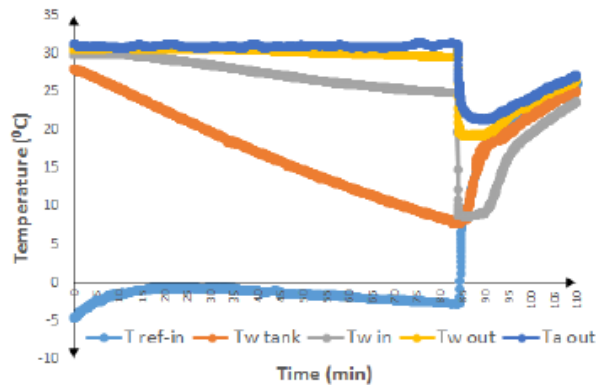
Jenis penyimpanan kalor yang digunakan berbentuk tabung terbuat dari pipa tembaga. Diameter tabung 1 inchi dan panjang tabung yang digunakan adalah 25 cm. Bahan campuran VCO dan minyak kedelai dimasukkan ke dalam tabung thermal storage sebanyak 80% dari volume tabung. Terdapat 10 buah tabung, dan setiap tabung diisi sebanyak 100 ml campuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian campuran VCO dan Minyak Kedelai sebagai bahan penyimpan energi termal dilakukan dengan dua tahap uji. Pertama dengan menguji sistem chiller dengan menggunakan air dingin biasa, dan yang kedua dengan menguji sistem chiller yang telah menggunakan penyimpanan energy termal. Hasil dari kedua pengujian tersebut akan dibandingkan untuk mengetahui kemampuan campuran sebagai bahan penyimpan energi termal.

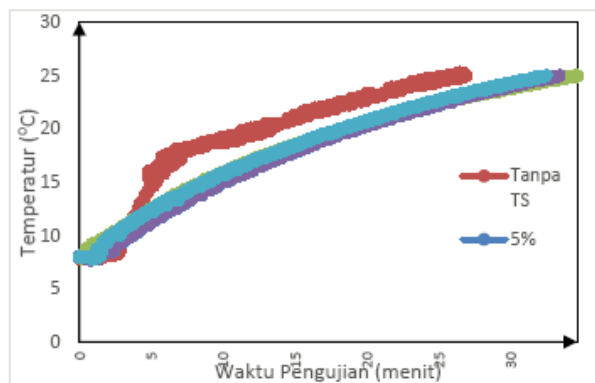
Pada uji pertama, sistem pendingin dihidupkan untuk mendinginkan temperatur air dalam tangki hingga mencapai temperatur 7°C. Setelah temperatur air tercapai, air dari tangki kemudian dialirkan melalui AHU berpendingin udara. Pengujian kemudian dilanjutkan dengan mematikan kompresor hingga temperatur air yang bersirkulasi mencapai temperatur ruang.

Hasil pengujian *tanpa penyimpanan kalor* ditunjukkan pada Gambar 2. Temperatur air dalam tangki diturunkan dari 27°C ke 7°C sesuai dengan kondisi kerja chiller. Saat temperatur telah tercapai, kompresor kemudian dimatikan dan beban pendinginan sepenuhnya diatasi oleh kalor sensible dari air yang ada dalam tangki. Temperatur udara ruang kembali diperoleh setelah sistem diuji selama 25,43 menit.



Gambar 2. Hasil pengujian tanpa penyimpan termal

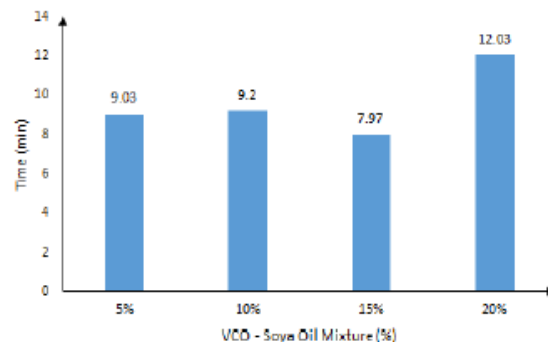
Pada pengujian dengan menggunakan penyimpan kalor, chiller dihidupkan dengan memasukkan penyimpan termal berisi campuran VCO dan minyak kedelai dengan komposisi 5%, 10%, 15%, dan 20% minyak kedelai ke dalam tangki air dingin. Pengujian dilaksanakan seperti dengan tahap uji pertama. Hasil pengujian dengan menggunakan penyimpan kalor ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengujian dengan penyimpan termal (a) 5%, (b) 10%, (c) 15%, (d) 20%

Hasil pengujian memperlihatkan kecenderungan grafik yang sama. Lamanya Waktu agar temperatur udara keluar AHU kembali ketemperatur udara ruang kelima komposisi campuran berbeda-beda. Campuran 5% membutuhkan waktu 34,46 menit, campuran 10% 34,63 menit, 15% selama 33,4 menit, dan untuk 20% selama 37,46 menit. Hal ini memberikan gambaran bahwa penggunaan termal storage akan memberikan pengaruh pada beban pendinginan yang dapat diatasi oleh chiller. Dengan menggunakan campuran VCO dan minyak kedelai sebagai bahan berubah fasa (PCM) pada termal storage, maka beban pendinginan tidak saja melalui kalor sensible tetapi juga melalui kalor laten dari PCM.

Perbandingan Hasil pengujian komposisi campuran VCO dan minyak kedelai ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan waktu pendinginan yang dapat diatasi oleh penyimpan kalor

Grafik menunjukkan bahwa waktu pendinginan yang dapat diatasi oleh penyimpan kalor adalah 9,03 menit untuk komposisi 5%, 9,2 menit untuk 10%, 7,97 menit untuk 15%, dan 12,03 menit untuk komposisi 20%. Hasil ini memberikan gambaran bahwa komposisi terbaik yang dapat digunakan untuk sistem chiller adalah 20% minyak kedelai dalam VCO. Pemakaian komposisi minyak kedelai yang lebih tinggi akan dari 20% akan menyebabkan titik beku campuran akan lebih rendah sehingga thermal storage tidak akan bekerja pada daerah 7 - 12°C.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan:

- 1) Hasil Pengujian menunjukkan potensi penggunaan campuran VCO dan minyak kedelai sebagai bahan PCM pada thermal storage pada sistem chiller. Titik beku VCO yang berada pada kisaran 19°C perlu diturunkan pada temperatur 7 - 12°C karena itu digunakan minyak kedelai yang memiliki titik beku -23 – (-20)°C.
- 2) Komposisi campuran VCO dan minyak kedelai yang terbaik yang digunakan pada sistem chiller adalah 20%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti memberikan ucapan terimakasih pada Direktorat Pendidikan Tinggi atas Bantuan Dana Penelitian Melalui Hibah Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2017, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Abdullah, M., O., Yii, L. P., Junaidi, E., Tambi, G., Musthapa, M.A., 2013, Electricity cost saving comparison due to tariff change and ice thermal storage (ITS) usage based on a hybrid centrifugal-ITS system for buildings: A university district cooling perspective, *Energy and Buildings* 67 (2013) 70–78.
- 2) Bawalan, D.D., Chapman, K.R., 2006, *Virgin Coconut Oil Production Manual for micro- and village-scale processing*, FAO Regional office For Asia and The Pacific, Bangkok
- 3) Bellas, I., Tassaou, S.A., 2005, Present and future application of ice slurry, *International Journal of Refrigeration* 28, pp. 115-121.
- 4) Cao, L., Su, D., Tang, Y., Fang, G., Tang, F., 2015, Properties evaluation and applications of thermal energystorage materials in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 48, Pages 500-522.
- 5) Deshpande, A., Jadvad, R., Kale, V., Nerpagar, M., Bansode, S., Patil, N., 2016, Performance Optimization of Air Conditioning System of ATM Room Using PCM as TES, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering, and Technology*, Vol 5 Issue 6, pp. 9950-9959.
- 6) Dumitrescu, R., Ilie, A., Ciriac, F., Ice Slurry vs cooled water as a refrigerant in confort air conditioning sistems. Diunggah 25 Mei 2013.
- 7) Gunstone, F.D., 2002, *Vebetebles Oil in Food Technology: Composition, Properties, and Uses*, Blackwell Publishing, USA.

- 8) Indartono, Y.S., Suwono, A., Pasek, A.D., Christanto, A., Application of Phase Change Material to Save Air Conditioning Energy in Material, The 7th International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Zhengzhou China, September 24-27, 2011.
- 9) Kamble, A.A., Karale, S.R., 2013, A review-thermal energy storage based dual mode air conditioning system, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 3, Issue 2, pp.1600-1604.
- 10) Knodel, B.D., France, D.M., Choi, U.S., Wambsganss, M.W., 2000, Heat transfer and pressure drops in ice slurry, Applied Thermal engineering 20, pp. 671-685.
- 11) Khushairi, M., M., Abdullah, H., Hazran, H., 2011, A Study on the Optimization of Control Strategy of a Thermal Energy Storage System for Building Air Conditioning, Procedia Engineering 20 pp. 118 – 124.
- 12) Kusnandar, F., 2010, Mengenal Sifat Minyak dan Lemak, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, IPB.
- 13) Lombard, L.P, Ortiz J., Pout C., 2008, A review on buildings energy consumption information, Energy and Buildings, Vol 40, pp 394 – 398.
- 14) Naguib, R., 2006, Hybrid Ice-Thermal Energy Storage: All-in-one Innovative New Sistem Concept, Air Conditioning and Refrigerating Journal.
- 15) Oró, E., Gil, A., Miro, L., Peiro, G., Alvares, S., Cabeza L.F., 2012, Thermal energy storage implementation using phase change materials for solar cooling and refrigeration applications, Energy Procedia 30 pp. 947 – 956.
- 16) Oró, E., Gracia, A., Castell, A., Farid, M.M., Cabeza, L.F., 2012, Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications, Applied Energy, Volume 99, Pages 513-533.
- 17) Pasek, A.D., Ufie, R., Andrian, C., Suwono, A. 2008, "Flammability and Performance Test of R-290/R-134a Mixtures for HCFC-22 Replacement", International Journal of Energy Machinery, The Korean Society of Heat & Cold Energy Engineers, ISSN 1976-9954. Vol. 1. No. 1, pp. 86-92
- 18) Putri, W.A., Fahmi, Z., Sutjahja I.M., Kurnia, D., Wonorahardji, S., 2016, Thermophysical parameter of coconut oil and its potential application as the thermal storage system in Indonesia, 6th Asian Physics Symposium, IOP Publishing.
- 19) Rismanchi, B., Saidur, R., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I, 2012, Energetic, economic, and environmental benefit of utilizing ice thermal storage system for office building applications, Energy and Buildings, 50, pp. 347 – 354.
- 20) Stritih, U, Butala, V, 2011, Energy Savings in Building with a PCM Free Cooling System, Journal of Mechanical Engineering, 57(2011)2, pp. 125-134.
- 21) Zhou, D., Zhao, C.Y., Tian, Y., 2012, Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications, Applied Energy, Volume 92, Pages 593-605
- 22) Zhuo, S., Wang, X., 2014, Comparison of thermal performance of BHP system with latent thermal energy storage in different locations, Energy Procedia 61 pp. 1812 – 1815.